



UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



Ivana Krajňáková

Autoreferát dizertačnej práce

Finite Automata and Operational Complexity

na získanie akademického titulu philosophiae doctor

**v odbore doktorandského štúdia:
aplikovaná matematika**

13. 5. 2020, Košice

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia

Na: Matematický ústav SAV, detašované pracovisko v Košiciach
Grešákova 6
040 01 Košice

Predkladateľ: Mgr. Ivana Krajňáková
Matematický ústav SAV, detašované pracovisko v Košiciach
Grešákova 6
040 01 Košice

Školiteľ: RNDr. Galina Jirásková, CSc.
Matematický ústav SAV, detašované pracovisko v Košiciach
Grešákova 6
040 01 Košice

Študijný odbor: Aplikovaná matematika

Predseda odborovej komisie: Prof. RNDr. Daniel Ševčovič, DrSc.
Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Univerzita Komenského v Bratislave
Mlynská dolina F1
842 48 Bratislava

Autoreferát dizertačnej práce

V tejto práci študujeme konečné automaty, regulárne jazyky a operačnú zložitosť regulárnych operácií na rôznych výpočtových modeloch konečných automatov. Venujeme sa postupne trom témam.

Najskôr ukážeme závislosť stavovej zložitosti operácie štvorec na počte koncových stavov v deterministickom konečnom automate pre daný jazyk. Tento výsledok využijeme na popísanie binárneho jazyka ťažkého pre operáciu štvorec na alternujúcich automatoch, ktorý dosahuje už známy horný odhad z literatúry. Jedná sa o už publikované výsledky z prvého priloženého článku. Tieto výsledky, dosvedčujúcich jazyky, využijeme na dôkaz tesnosti horného odhadu pre zreťazenie na alternujúcich automatoch, čo poskytne alternatívne riešenie otvoreného problému, ktorý formulovali Fella, Jürgensen, Yu [1990, Constructions for alternating finite automata, Internat. J. Comput. Math. 35, 117–132].

V ďalšej kapitole priblížime výsledky z druhého priloženého článku. Venujeme sa stavovej zložitosti niektorých ďalších regulárnych operácií na jazykoch reprezentovaných Booleovskými a alternujúcimi konečnými automati. Dostávame tesné horné odhady pre doplnok, zjednotenie, prienik, rozdiel, symetrický rozdiel, star, zrkadlový obraz, ľavý a pravý kvocient. Pri dôkazoch tesnosti používame čo najmenšiu abecedu – binárnu a unárnu. Pri binárnej ukážeme aj jej optimalitu.

Poslednou témou, ktorej sa venujeme je „NFA-to-DFA trade-off“, čo je zložitosť regulárnych operácií za predpokladu, že vstupné jazyky su dané ako nedeterministické konečné automaty, kým výsledok je popísaný ako deterministický konečný automat. Takýto ukazovateľ zložitosti jednotlivých operácií sa dá využiť ako odhad pre kombinované (zložené) operácie, ale aj iné modely automatov, ako sú self-verifying automaty a unambiguous automaty. Preskúmali sme tesné horné odhady pre operácie: star, doplnok, zreťazenie, zrkadlový obraz, ľavý kvocient a pravý kvocient, zjednotenie, symetrický rozdiel, prienik, rozdiel a zreťazenie. Tesnosť týchto odhadov popíšeme na čo najmenšej možnej abecede, čo je binárna, ktorá je optimálna. Pre binárne Booleovské operácie a zreťazenie však použijeme ternárnu abecedu, keďže v binárnom prípade dostávame len asyptoticky tesný horný odhad.

Súhrn v anglickom jazyku

In this work we study finite automata, regular languages and the operational complexity of regular operations on various computational models of finite automata. We deal with three topics.

We first show the dependence of the state complexity of a square operation on the number of final states in a deterministic finite automaton for a given language. We apply this result to description of a binary language difficult for square operation on alternating automata, which reaches the already known upper bound from the literature. These are already published results from the first attached article. We then use the witness languages from the article to prove the tightness of the upper bound for the concatenation on alternating automata, which provides an alternative solution to the open problem formulated by Fellah, Jürgensen, Yu [1990, Constructions for alternating finite automata, *Internat. J. Comput. Math.* 35, 117–132].

In the next chapter we will present the results from the second attached article. We deal with the state complexity of some other regular operations on languages represented by Boolean and alternating finite automata. We get tight upper bounds for complementation, union, intersection, difference, symmetric difference, star, reversal, left and right quotient. We use the smallest possible alphabets for proofs of tightness - binary and unary. In the case of binary, we will also show its optimality.

The last topic we deal with is the "NFA-to-DFA trade-off", which is the complexity of regular operations, assuming that input languages are given as nondeterministic finite automata, while the result is described as a deterministic finite automaton. Such an indicator of the complexity of individual operations can be used as an estimate for combined operations, but also other models of automata, such as self-verifying automata and unambiguous automata. We examined tight upper bounds for operations: star, complementation, concatenation, reversal, left quotient and right quotient, union, symmetric difference, intersection, difference, and concatenation. We describe the tightness of these upper bounds on the smallest possible alphabets, which is a binary, and it is optimal. However, for binary Boolean operations and concatenation, we use the ternary alphabet, since in the binary case we get only an asymptotically tight upper bound.

Zoznam priložených článkov

Square on deterministic, alternating, and Boolean finite automata

Galina Jirásková, Ivana Krajňáková

International Journal of Foundations of Computer Science, vol. 30(6-7), pp. 1117--1134 (2019)

ISSN: 0129-0541, DOI: 10.1142/S0129054119400318

Operations on Boolean and alternating finite automata

Michal Hospodar, Galina Jirásková, Ivana Krajňáková

In Fedor V. Fomin, Vladimir V. Podolskii (eds.): Computer Science -- Theory and Applications -- 13th International Computer Science Symposium in Russia, CSR 2018, Moscow, Russia, June 6--10, 2018, Proceedings.

Lecture Notes in Computer Science, vol. 10846, pp. 181--193, Springer (2018)

ISSN: 0302-9743, ISBN: 978-3-319-90529-7, DOI: 10.1007/978-3-319-90530-3_16

Zoznam publikovaných prác a ohlasov

Square on deterministic, alternating, and Boolean finite automata

Galina Jirásková, Ivana Krajňáková

International Journal of Foundations of Computer Science 30(6-7), pp. 1117-1134 (2019)

ISSN: 0129-0541, DOI: 10.1142/S0129054119400318

On the square of regular languages

Kristína Čevorová, Galina Jirásková, Ivana Krajňáková

In: Markus Holzer, Martin Kutrib (eds.):

Implementation and Application of Automata - 19th International Conference, CIAA 2014, Giessen, Germany, July 30 - August 2, 2014. Proceedings.

Lecture Notes in Computer Science, vol. 8587, pp. 136-147, Springer (2014)

ISBN: 978-3-319-08845-7, DOI: 10.1007/978-3-319-08846-4_10

Citácie:

- Markus Holzer, Michal Hospodár:
The Range of State Complexities of Languages Resulting from the Cut Operation. LATA 2019: 190-202
- Ivana Krajňáková, Galina Jirásková:
Square on Deterministic, Alternating, and Boolean Finite Automata. DCFS 2017: 214-225
- Galina Jirásková, Alexander Szabari, Juraj Šebej:
The Complexity of Languages Resulting from the Concatenation Operation. DCFS 2016: 153-167

Square on deterministic, alternating, and Boolean finite automata

Galina Jirásková, Ivana Krajňáková

In: Giovanni Pighizzini, Cezar Câmpeanu (eds.):

Descriptive Complexity of Formal Systems - 19th IFIP WG 1.02 International Conference, DCFS 2017, Milano, Italy, July 3-5, 2017, Proceedings.

Lecture Notes in Computer Science, vol. 10316, pp. 214-225, Springer (2017).

ISBN: 978-3-319-60251-6, DOI: 10.1007/978-3-319-60252-3_17

Citácie:

- Michal Hospodár, Galina Jirásková, Ivana Krajňáková:
Operations on Boolean and Alternating Finite Automata. CSR 2018: 181-193

Operations on Boolean and alternating automata

Michal Hospodár, Galina Jirásková, Ivana Krajňáková

In: Fedor V. Fomin, Vladimir V. Podolskii (eds.):

Computer Science - Theory and Applications - 13th International Computer Science Symposium in Russia, CSR 2018, Moscow, Russia, June 6-10, 2018, Proceedings

Lecture Notes in Computer Science, vol. 10846, pp. 181-193, Springer (2018).

ISBN: 978-3-319-90529-7, DOI: 10.1007/978-3-319-90530-3_16

NFA-to-DFA trade-Off for regular operations

Galina Jirásková, Ivana Krajňáková

In: Michal Hospodár, Galina Jirásková, Stavros Konstantinidis (eds.):

Descriptive Complexity of Formal Systems - 21st IFIP WG 1.02 International Conference, DCFS 2019, Košice, Slovakia, July 17-19, 2019, Proceedings.

Lecture Notes in Computer Science, vol. 11612, pp. 184--196, Springer (2019).

ISBN: 978-3-030-23246-7, DOI: 10.1007/978-3-030-23247-4_14